

## Modélisation des contenus du tractus digestif bovin

O. MARTIN, D. SAUVANT

UMR INRA-INA P-G Physiologie de la Nutrition et Alimentation, 16 rue Claude Bernard, 75231 Paris cedex 05

**RESUME** - Une base de données bibliographique compilant les données relatives aux contenus du tractus digestif bovin reportées dans 128 articles (62 essais avec abattage et 66 essais avec évacuation ruminale) a été analysée. Le poids frais des contenus de l'ensemble du tractus digestif (CFTD, kg) représente en moyenne 14 à 15% du poids vif. Le poids frais des contenus du reticulo-rumen (CFRR, kg), de l'omasum, de l'abomasum, de l'intestin grêle et du gros intestin représente 69,6%, 7,8%, 3,7%, 11,8% et 9,0% de CFTD respectivement. Leurs teneurs en matière sèche sont respectivement de 11,4%, 21,6%, 14,1%, 8,5% et 11,5%. Un modèle global, intégrant le temps écoulé depuis la distribution du dernier repas (t, h) et le niveau d'ingestion de NDF (NDFI, kg/j), est proposé pour prédire l'encombrement ruminal [ $CFRR = 34,6 + 8,13 \times NDFI - 0,65 \times t$ ;  $R^2=61,7\%$ ,  $n=194$ ,  $ETR=12,4$  kg] et par extension CFTD [ $CFTD = CFRR/0,696$ ] et le poids vif vide [ $PVV = PV - CFTD$ ].

## Modeling digestive tract contents in cattle

O. MARTIN, D. SAUVANT

UMR INRA-INA P-G Physiologie de la Nutrition et Alimentation, 16 rue Claude Bernard, 75231 Paris cedex 05

**SUMMARY** - A database was built and analysed with data relative to cattle digestive tract contents from 128 articles (62 trials with slaughter and 66 trials with ruminal emptying). The weight of the digestive tract wet content (DTWC, kg) represents 14 to 15% of the live weight. The weight of the reticulo-rumen wet contents or rumen fill (RRWC, kg), the omasum, the abomasums, the small and the large intestines represents 69.6%, 7.8%, 3.7%, 11.8% et 9.0 % of DTWC respectively. Their dry matter contents are respectively 11.4%, 21.6%, 14.1%, 8.5% and 11.5%. An empirical model integrating the time after-feeding (t, h) and the level of NDF intake (NDFI, kg) was proposed to predict the rumen fill [ $RRWC = 34.6 + 8.13 \times NDFI - 0.65 \times t$ ;  $R^2=61.7\%$ ,  $n=194$ ,  $RMSE=12.4$  kg], the whole tract fill (DTWC = RRWC/0.696] and the empty body weight [  $EBW = BW - DTWC$ ].

## INTRODUCTION

La notion de poids vif vide, *i.e.* corrigé du poids des contenus digestifs, est essentielle chez les bovins afin d'évaluer leurs besoins et de définir des recommandations alimentaires adaptées. En effet, l'encombrement du tractus digestif induit une surcharge pondérale non corporelle ne déterminant donc pas un besoin. Pour estimer correctement les variations réelles du poids vif des bovins en croissance ou en lactation, et en apprécier la signification énergétique, les variations liées aux contenus digestifs doivent donc être connues (Chilliard *et al.*, 1987). En pratique ces variations peuvent être minimisées en pesant par exemple les animaux après un jeûne nocturne (Bath *et al.*, 1966). Une autre approche consiste à prédire le poids des contenus du tractus digestif à partir de caractéristiques simples des régimes et des animaux. Les principales sources de variations du poids des contenus du reticulo-rumen ont été décrites par Rémond *et al.* (1995). Depuis le modèle de Blaxter *et al.* (1956) chez le mouton, les travaux de modélisation de la digestion chez les ruminants se sont plutôt focalisés sur des aspects liés à la dégradation des aliments (Pond *et al.*, 1988) que dans une optique de prédiction pondérale. Plusieurs modèles ont cependant été publiés mais concernent la prévision du volume ruminal. Sauviant (1996) a par ailleurs montré qu'ils aboutissaient à des valeurs très différentes pour des animaux et des régimes comparables. L'objectif de ce travail de synthèse est de quantifier la proportion des contenus digestifs dans l'animal, leur répartition et leur composition dans les différents compartiments du tractus digestif et de proposer un modèle empirique simple de prédiction du poids des contenus digestifs permettant d'estimer le poids vif vide des animaux.

## 1. MATERIEL ET METHODES

### 1.1. BASE DE DONNEES BIBLIOGRAPHIQUE

Les données de 128 articles publiés entre 1920 et 2002 ont été compilées. Ces expérimentations ont été effectuées sur des animaux mâles en croissance, entiers ou castrés et des femelles en lactation ou taries, de type laitier ou boucher, appartenant à une grande diversité de races bovines et de leurs croisements. Les données collectées sont des mesures en kg du poids frais des contenus de l'ensemble du tractus digestif et de ces différents compartiments anatomiques (reticulo-rumen, omasum ou feuillet, abomasum ou caillette, intestin grêle et gros intestin) obtenues après abattage des animaux (62 articles) et des mesures du poids des contenus du reticulo-rumen après évacuation complète sur des animaux fistulés (66 articles). Ces mesures sont des données individuelles ou des moyennes de groupes d'animaux ou de séries de mesures. Les données relatives à la teneur en matière sèche de ces contenus, à la quantité et à la composition des rations quotidiennes (fourrage -FO, concentré -CO, type de fourrage, teneur en NDF), au poids vif des animaux et au temps écoulé depuis la distribution de la ration au moment de l'évacuation des contenus du reticulo-rumen ont été systématiquement enregistrées lorsqu'elles étaient disponibles. Les facteurs étudiés dans le cadre de ces essais sont liés à l'animal (race, sexe, âge, poids, état corporel, stade physiologique, traitement hormonal,...) et / ou à la ration (système d'alimentation, niveau d'ingestion, ratio FO / CO, composition chimique et ingrédients de la ration, forme de présentation et traitement technologique des

aliments, additifs, ...). La liste des publications utilisées dans le cadre de cette étude est disponible auprès des auteurs.

## 1.2. ANALYSE STATISTIQUE ET MODELISATION

Les notations suivantes sont utilisées : CFTD = poids des contenus frais du tractus digestif (kg), CFRR = poids des contenus frais du reticulo-rumen, PV = poids vif (kg). Le poids frais des contenus du tractus digestif est exprimé en pourcentage du poids vif ( $CFTD\% = 100 \times CFTD/PV$ ). Cette proportion est comparée selon les facteurs suivants : le type animal (boucher ou laitier), le sexe (mâle, mâle castré, ou femelle), l'état physiologique (pour les femelles, taries ou en lactation) et le poids vif (classes de 100kg). Les données exploitées dans cette partie concernent uniquement des animaux dont le poids des contenus du tractus digestif a été réellement pesé après abattage (N = 35 articles, n = 283 données). Les proportions relatives des contenus des différents compartiments anatomiques dans l'ensemble du tube digestif, ainsi que dans les ensembles ruminal et intestinal sont estimées par rééchantillonnage bootstrap. Cette méthodologie est adaptée à l'estimation d'une proportion et de son erreur-type. Les données exploitées dans cette partie concernent uniquement des animaux dont le poids des contenus digestifs a été pesé après abattage (N = 14) majoritairement de type laitier. Les teneurs en matière sèche de ces différents compartiments sont également estimées et comparées. Les données exploitées dans cette partie concernent des animaux dont la teneur en matière sèche des contenus digestifs a été estimée après abattage (N = 9) ou vidange ruminale (N = 61). Plusieurs modèles d'analyse de variance-covariance de CFTD sont testés. Les quantités de matière sèche ingérée par jour au total (MSI, kg), sous forme de fourrage et de concentré (COI et FOI, kg) et de parois cellulaires (NDFI, kg) sont les variables explicatives utilisées successivement dans ces modèles. Le facteur "publication" est pris en compte dans les composantes de la variance en tant que facteur aléatoire (St-Pierre, 2001). Enfin, afin de tenir compte de l'évacuation du reticulo-rumen, le temps écoulé depuis la distribution du dernier repas au moment de l'évacuation (t, en heure) est introduit en tant que covariable. Ces modèles, ajustés par la procédure MIXED de SAS, permettent d'estimer la part imputable à des différences de quantité de MSI, COI et FOI, et NDFI dans des différences de poids frais des contenus du reticulo-rumen entre animaux. Le coefficient associé à FOI est également estimé par type de fourrage.

Dans un second temps, un modèle global de prédiction de la quantité (et non plus de ses variations) de CFRR et de par extension, de CFTD est proposé. Les erreurs résiduelles de ce dernier modèle sont comparées selon le type animal, le sexe et l'état physiologique. Les données exploitées dans cette partie concernent majoritairement des animaux fistulés de type laitier dont le poids des contenus du reticulo-rumen a été pesé après évacuation complète (N = 54, n = 337). La relation entre le poids du reticulo-rumen vide et ses contenus est également évaluée sur des données concernant des animaux abattus et disséqués (N = 8, n = 72).

## 2. RESULTATS

### 2.1. ANALYSE STATISTIQUE DESCRIPTIVE

#### 2.1.1. Proportion du poids frais des contenus du tube digestif dans le poids vif

Le poids frais des contenus du tube digestif représente en moyenne  $14,2 \pm 3,8\%$  du poids vif de l'animal. Cette

proportion est significativement accrue ( $P < 0,05$ ) chez les femelles en lactation ( $14,9 \pm 3,3\%$ ,  $n = 41$ ) et plus faible pour les mâles entiers ( $12,6 \pm 3,3\%$ ,  $n = 115$ ). A partir de 100kg de poids vif une diminution de 1.1 point de cette proportion est observée par incrément de 100 kg de poids vif. Ce résultat s'interprète par effet d'allométrie minorante du tractus digestif par rapport au poids vif et notamment par l'augmentation des réserves adipeuses avec le poids vif (Robelin, 1974).

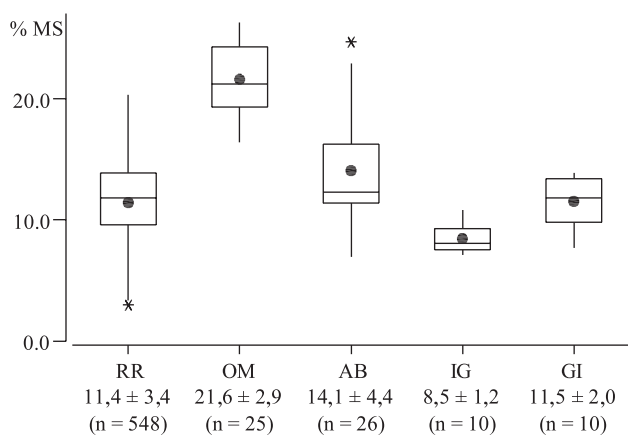
### 2.1.2. Répartition des contenus dans l'ensemble du tractus digestif (Tableau 1)

Les contenus digestifs se répartissent pour 80% dans le rumen, principalement dans le reticulo-rumen, et pour 20% dans les intestins, de façon approximativement équilibrée entre l'intestin grêle et le gros intestin. Les erreurs types obtenues indiquent une grande stabilité de ces proportions.

**Tableau 1** : Proportion du poids des contenus frais entre les différents compartiments du tractus digestif

	Moyenne	Erreur-type	Effectif	Articles	Données
Répartition en % du poids frais dans l'ensemble du tube digestif					
Reticulo-rumen	69,6	± 0,5	13	89	
Omasum	7,8	± 0,3	9	65	
Abomasum	3,7	± 0,1	9	65	
Intestin grêle	11,8	± 0,9	6	20	
Gros intestin	9,0	± 0,5	6	20	
Ensemble ruminal	80,0	± 0,4	13	80	
Ensemble intestinal	20,1	± 0,4	12	77	
Répartition en % du poids frais dans l'ensemble ruminal					
Reticulo-rumen	85,6	± 0,4	10	68	
Omasum	9,8	± 0,3	9	65	
Abomasum	4,6	± 0,2	9	65	
Répartition en % du poids frais dans l'ensemble intestinal					
Intestin grêle	56,8	± 1,7	7	21	
Gros intestin	43,3	± 1,7	7	21	

### 2.1.3. Teneurs en matière sèche des contenus dans les compartiments du tractus digestif (Figure 1)



**Figure 1** : Boîtes de distribution des teneurs en matières sèche des contenus du reticulo-rumen (RR), de l'omasum (OM), de l'abomasum (AB), de l'intestin grêle (IG) et du gros intestin (GI).

Les teneurs en matière sèche des contenus des différents compartiments du tractus digestif sont significativement différentes, excepté entre le reticulo-rumen et le gros intestin. L'intestin grêle est le compartiment le plus humide

(8,5% de matière sèche) et l'omasum est le compartiment le plus sec (21,6% de matière sèche).

## 2.2. MODELISATION DU POIDS DES CONTENUS DU RETICULO-RUMEN

### 2.2.1. Variations du poids frais des contenus du reticulo-rumen imputables au niveau d'ingestion

Les modèles suivants ont été obtenus avec P, écart type lié au facteur "publication" et E, écart type résiduel :

$$\text{CFRR} = 57,5 \pm P + 1,89 \times \text{MSI} - 1,15 \times t \pm E$$

P = 18,7 kg et E = 10,4 kg (N = 52, n = 328)

$$\text{CFRR} = 50,5 \pm P + 3,38 \times \text{FOI} + 0,83 \times \text{COI} - 1,15 \times t \pm E$$

P = 17,3 kg et E = 10,0 kg (N = 44, n = 274)

$$\text{CFRR} = 49,6 \pm P + K \times \text{FOI} + 1,05 \times \text{COI} - 1,17 \times t \pm E$$

P = 15,9 kg et E = 9,8 kg (N = 43, n = 266)

K = 3,71 pour les foin, 2,89 pour les ensilages et 6,15 pour les pailles

$$\text{CFRR} = 32,9 \pm P + 8,0 \times \text{NDFI} - 0,79 \times t \pm E$$

P = 11,1 kg et E = 6,8 kg (N = 34, n = 192)

L'effet d'encombrement des fourrages est en moyenne 4 fois plus important que celui du concentré et celui des pailles près de 2 fois plus élevé que celui des autres fourrages. Il n'est donc pas surprenant de constater que le niveau d'ingestion du NDF aboutit à une équation plus précise.

Les estimations liées à l'évacuation horaire du reticulo-rumen sont sensiblement identiques et varient de 0,8 à 1,2 kg/h. La valeur de 1,89 kg/kg MSI est nettement inférieure à la valeur de 3 kg/kg MSI proposée par Rémond (1988) obtenue avec une ration composée à 70% de fourrage et classiquement retenue pour l'estimation du poids des contenus du reticulo-rumen.

### 2.2.3. Modèle prédictif des contenus digestifs

Le niveau d'ingestion de NDF est donc la variable retenue pour le développement d'un modèle prédictif global, obtenu sans procéder à une correction liée au facteur publication. L'effet quadratique de NDFI étant significatif, une forme curvilinéaire du modèle est également proposée (Figure 2) :

$$\text{CFRR} = 34,6 + 8,13 \times \text{NDFI} - 0,65 \times t$$

n = 194, R<sup>2</sup> = 61,7%, ETR = 12,4 kg

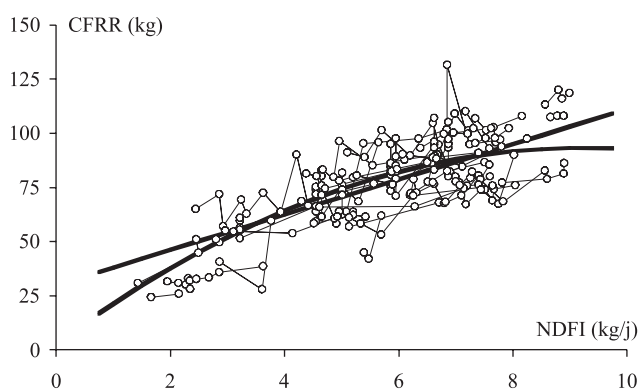
$$\text{CFRR} = 7,8 + 19,6 \times \text{NDFI} - 1,06 \times \text{NDFI}^2 - 0,70 \times t$$

n = 194, R<sup>2</sup> = 65,3%, ETR = 11,8 kg

La forme quadratique améliore la qualité de l'ajustement, en particulier pour des niveaux d'ingestion de NDF inférieurs à 4 kg/j. Cependant, la forme linéaire est retenue pour sa pertinence d'un point de vue biologique. L'analyse des résidus de ces modèles ne révèle pas de différence significative ( $P < 0,05$ ) selon le type animal, le sexe ou le statut physiologique. En utilisant la valeur estimée précédemment de 69,6% des contenus de l'ensemble du tractus digestif compris dans le reticulo-rumen, on obtient le modèle suivant utilisable pour la prédiction du poids frais des contenus de l'ensemble du tractus digestif et ainsi le calcul du poids vif vide (PVV, kg) :

$$\text{CFTD} = \text{CFRR} / 0,696$$

$$\text{PVV} = \text{PV} - \text{CFTD}$$



**Figure 2** : Relation entre le NDF ingéré (NDFI) et le poids des contenu frais du reticulo-rumen (CFRR) : données et modèles linéaire et quadratique.

#### 2.2.4. Relation entre poids vide et contenus du réticulo-rumen

Il existe une corrélation hautement significative ( $P < 0,0001$ ) entre le poids frais des contenus et le poids vide du réticulo-rumen ( $r = 0,95$ ). Un modèle mixte d'analyse de variance-covariance intégrant l'effet aléatoire "publication" permet d'estimer un accroissement de 0.13 kg de poids du réticulo-rumen vide par kg de contenu frais supplémentaire. Ce résultat quantifie l'adaptation de cet organe à l'accroissement de son contenu.

### 3. DISCUSSION

La grande variété des conditions expérimentales associées à cette collection d'informations quantitatives tend à accréditer la portée générale des résultats synthétiques dérivés de leur analyse. L'estimation du poids des contenus du tractus digestif à 14% du poids vif (avec une erreur de prédiction de  $\pm 15$ kg) n'intègre ni l'aspect dynamique du transit digestif, ni les différences existant entre animaux de même poids mais ayant des niveaux d'ingestion différents ou ingérant des rations différentes. La constance des proportions du contenu total entre les différents segments du tractus digestif déjà exploitée par Béranger et Robelin (1978) et notamment entre le réticulo-rumen et le reste du tube digestif permet d'envisager d'estimer le poids total des contenus à  $1/0,696 = 1,437$  fois le poids des contenus du réticulo-rumen (avec une erreur de prédiction de  $\pm 5$  kg), mais nécessite de pratiquer l'évacuation du reticulo-rumen sur un animal fistulé. Nos résultats confirment le rôle des fourrages et des constituants pariétaux comme facteur majeur de l'encombrement du réticulo-rumen (Sauvant et Mertens, 1998). Ce travail a été effectué spécifiquement sur les contenus frais du reticulo-rumen. Une démarche analogue pourrait être menée en distinguant les contenus sec et liquidien du reticulo-rumen, ainsi qu'en s'attachant aux aspects volumiques de l'encombrement. A ce propos on peut se demander si les estimations indirectes du volume liquidien ruminal, obtenues avec les marqueurs de la phase liquide, ne pourraient pas être également exploitées. La question de la cohérence des champs de données devrait alors se poser.

La part imputable, dans des différences de poids vif entre animaux ou entre animaux à différents stades ou âges, à des différences d'ingestion de MSI, de FO et CO, ou de NDF peut être estimée à l'aide des coefficients proposés (en extrapolant du rumen à l'ensemble du tractus digestif). Ces

valeurs sont une alternative à l'estimation classique de 3 kg de contenu ruminal par kg de MSI proposée par Rémond (1988) et étendue à 4 kg de contenu total par kg de MSI à partir des résultats de Béranger et Robelin (1978). Le modèle global de prédiction du poids des contenus du réticulo-rumen et de l'ensemble du tractus digestif à partir du niveau d'ingestion de parois végétales est associé à une erreur de prédiction de  $\pm 10$  à 12kg. Ce modèle intègre indirectement le phénomène de transit digestif sous une forme très simple. Il permet ainsi de réaliser une correction en fonction de l'heure de la journée et de tenir compte de la réduction du poids des contenus avec le jeûne. Cependant sachant que la majeure partie de cette réduction a lieu en 24h (Bass et Duganzich, 1980), il convient de ne pas utiliser le modèle pour des temps de jeûne supérieurs.

Une modélisation mécaniste des flux de transit digestif est a priori susceptible de fournir un modèle plus précis. Toutefois, la disponibilité des mesures nécessaires pour ajuster les coefficients d'un tel modèle est un obstacle majeur. En outre, la modélisation du transit doit intégrer de façon distincte les flux de matière sèche et les flux d'eau, ainsi que les aspects de digestibilité et de réduction de taille des particules alimentaires. Dans une optique opérationnelle de correction du poids vif et de calcul du poids vif vide, l'approche empirique de cette étude est jugée plutôt satisfaisante. Les équations proposées doivent néanmoins être validées sur d'autres jeux de données. D'autres facteurs, tels que l'avancement de la gestation et la quantité de dépôts adipeux internes sont susceptibles d'influer sur la quantité de contenus digestifs (Foot and Greenhalgh, 1970 ; Tayler, 1959). Ces aspects n'ont pas été évalués dans le cadre de cette étude.

### CONCLUSION

Cette étude fournit des estimations numériques de variables caractérisant les contenus du tractus digestif pouvant être exploitées dans différents types de simulations. Les approches proposées pour quantifier l'encombrement digestif en terme de part imputable à des variations de poids vif ou en valeur absolue prédite à partir du NDF peuvent être utilisées sur le terrain ou dans des modèles digestifs. Un travail de validation doit toutefois évaluer la qualité des estimations produites.

**Bass, J.J., Duganzich, D.M. 1980.** Anim. Prod., 31, 111-113

**Bath, D.L., Ronning, M., Lofgreen, G.P., Meyer, J.H. 1966.** J. Dairy Sci., 49, 830-834

**Béranger, C., Robelin, J. 1978.** Ann. Zootech., 27, 639-645

**Blaxter, K.L., Graham, N.McC., Wainman, F.W. 1956.** Br. J. Nutr., 10, 69-91

**Chilliard, Y., Rémond, B., Agabriel, J., Robelin, J., Vérité, R. 1987.** Bull. Tech. C.R.Z.V., 70, 117-131

**Foot, J.Z., Greenhalgh, J.F.D. 1970.** Anim. Prod., 12, 669-671

**Pond, K.R., Ellis, W.C., Matis, J.H. 1988.** Br. J. Nutr., 60, 571-595

**Rémond, B. 1988.** Reprod. Nutr. Dévelop., 28, 109-110

**Rémond, B., Brugère, H., Poncet, C., Baumont, R. 1995.** In R. Jarrige, Y. Ruckebush, C. Demarquilly, M.H. Farce, M. Journet (Editeur), INRA, France, 253-298

**Robelin, J., Geay, Y., Béranger, C. 1974.** Ann. Zootech., 23, 313-323

**Sauvant, D. 1996.** Ann. Zootech., 45, Suppl., 215-135

**Sauvant, D., Mertens, D. 1998.** J. Anim. Sci., 76, Suppl. 1, 1235

**St-Pierre, N.R. 2001.** J. Dairy Sci. 84, 741-755

**Tayler, J.C. 1959.** Nature, 4704, 2021